

Eficiencia de elementos de protección respiratoria evaluada en tres modos de transporte en Bogotá.

Camila Andrea Figueredo Salinas.
Fabián Leonardo Moreno Camacho.
Boris Galvis PhD.

Tabla 1. Resumen de observaciones de las campañas de medición. (Morales Betancourt et al., 2017)

	PM 2.5 Exposure	Black Carbon Exposure	PM 2.5 Dosis		Black Carbon dosis	
Model	$\mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$		$\mu\text{g km}^{-1}$	$\mu\text{g m}^{-1}$	$\mu\text{g km}^{-1}$	$\mu\text{g m}^{-1}$
BRT-Bus	118.3	77.5	8.2	2.4	5.3	1.6
Bus	92.9	55.8	8.3	1.5	5.8	1.1
Bycicle	19.3	10	6.2	1	22	1.4
Pedestrian	17	10.5	26.7	1.4	22.9	1.4



Exposición mayor



Dosis elevada en peatones

Tabla 2. Cantidad de viajes por medio de transporte

Modo de transporte	Viajes		
	2011	2015	% variación
BRT	1'494.082	2'289.878	53,26%
Peatón	8'136.778	5'576.942	-31,46%
Bicicleta	611.343	846.727	38,50%

Fuente: Encuesta de movilidad (2015).



El 64% de los viajes que se realizan son a pie, el 26,3% en Transmilenio y el 9,72% en bicicleta (Alcaldía mayor de Bogotá, 2015)



En la ciudad, los viajes en el sistema de BRT y los ciclistas aumentan mientras que los peatones caminan menos (encuesta de movilidad en Bogotá para el año 2015).



La exposición a partículas finas en Bogotá podría ser seis veces mayor en (BRT) que en peatones y ciclistas, pero las dosis inhaladas son más altas en el último caso (Morales et al., 2017).



Fuente: <http://aqicn.org/mask/es/>



Fuente: <https://www.bimedica.com/>



Fuente: <http://aqicn.org/mask/es/>



Fuente: <http://aqicn.org/mask/es/>



En Colombia, el uso de diferentes máscaras comienza a generalizarse, algunas con filtros y otras más simples. Pero los beneficios que cada uno puede proporcionar son desconocidos (Velandia, E., 2017).

Transmilenio

Recorrido aproximado de 22 Kilómetros.

Bicicleta

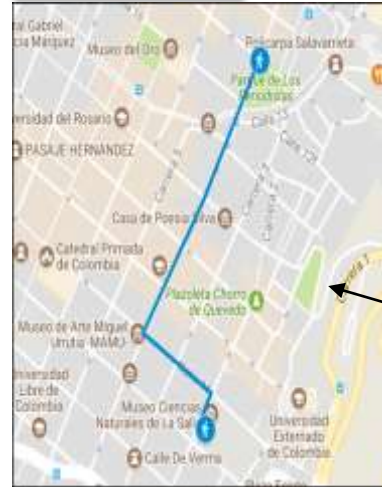
Distancia aproximada de 5.6 Kilómetros.

Peatón

Distancia aproximada de 1.8 kilómetros.

Modo de transporte	Mascaras	Duración	Viajes totales
	Totobobo	10 días	40
	Quirúrgica		
	Respro		
	Totobobo	5 días	20
	Quirúrgica		
	Respro		
	Totobobo	5 días	20
	Quirúrgica		
	Respro		
	3M 9332		

Duración de las campañas de monitoreo y número de viajes en los diferentes medios de transporte



Localización de los tres corredores viales

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2016)

La investigación se dividió en tres campañas, en cada una de ellas se probaron 4 tipos de mascarillas (Totobobo, Máscara quirúrgica, Respro y 3M 9332)



MicroAeth AE51,
(AethLabs, CA, USA)

DustTrack DRX,
(TSI Inc. MN, USA).



Bitácora de monitoreo

FECHA	TIPO DE MÁSCARA	HORA ENCENDIDO	HORA PUESTA MÁSCARA	HORA INICIO	HORA FINAL	LUGAR INICIO	LUGAR FINAL	OBSERVACIONES
12/13/2017	Totobobo	9:40:00 AM	9:45:00 AM	9:48:00 AM	10:12:36 AM	Portal eldorado	Universidades	Transmilenio
	Quirúrgica		10:40:05 AM	10:16:00 AM	10:37:16 AM	Universidades	Portal eldorado	Transmilenio
				11:15:00 AM	11:37:40 AM	Universidades	Portal eldorado	Transmilenio
	Respro		11:39:51 AM	11:45:22 a .m.	12:11:48 PM	Portal eldorado	Universidades	Transmilenio
				12:16:11 AM	12:40:40 PM	Universidades	Portal eldorado	Transmilenio
	3M		12:43:00 AM	12:43:21 AM	1:06:23 PM	Portal eldorado	Universidades	Transmilenio
				1:08:39 PM	1:31:10 PM	Universidades	Portal eldorado	Transmilenio



Fuente: Elaboración propia.

Dosis potencial D_{IJ} (μg)

$$D_{ij} = C_{ij} IR_i \Delta t_{ij}$$

Dosis por unidad de longitud ($\mu g \cdot km^{-1}$)

$$D_{ij}^L = \frac{D_{ij}}{L_j}$$

Dosis por unidad de Tiempo ($\mu g \cdot min^{-1}$)

$$D_{ij}^T = \frac{D_{ij}}{\Delta t_{ij}}$$

Valores de tasa de inhalación asociada a nivel de actividad física

Activity Level	Energy Expenditure	Inhalation Rate
Classification	(METs)	($m^3 min^{-1}$)
Sedentary	$METs \leq 1.5$	5.11×10^{-3}
Light	$1.5 < METs \leq 3.0$	1.30×10^{-2}
Moderate	$3.0 < METs \leq 6.0$	2.92×10^{-2}
Vigorous	$METs > 6.0$	5.39×10^{-2}

Exposure Factors Handbook (US-EPA, 2011)

Cálculo de la dosis potencial en cada medio de transporte

La dosis potencial D_{ij} (μg) depende de la concentración de exposición C_{ij} ($\mu g/m^3$), el modo de transporte i , el segmento de carretera recorrido j , la duración de exposición Δt_{ij} (min) y la tasa de inhalación asociada a la actividad física de cada modo de transporte IR_i ($m^3 [min]^{-1}$).

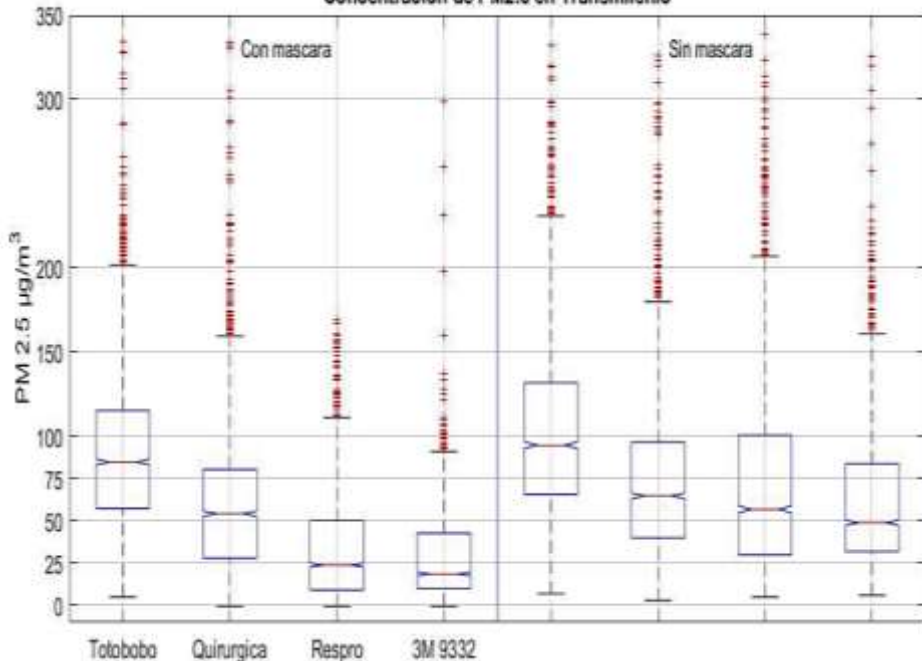
Cálculo de la eficiencia de cada protector respiratorio.

La eficiencia de cada protector respiratorio se evaluó de la siguiente manera:

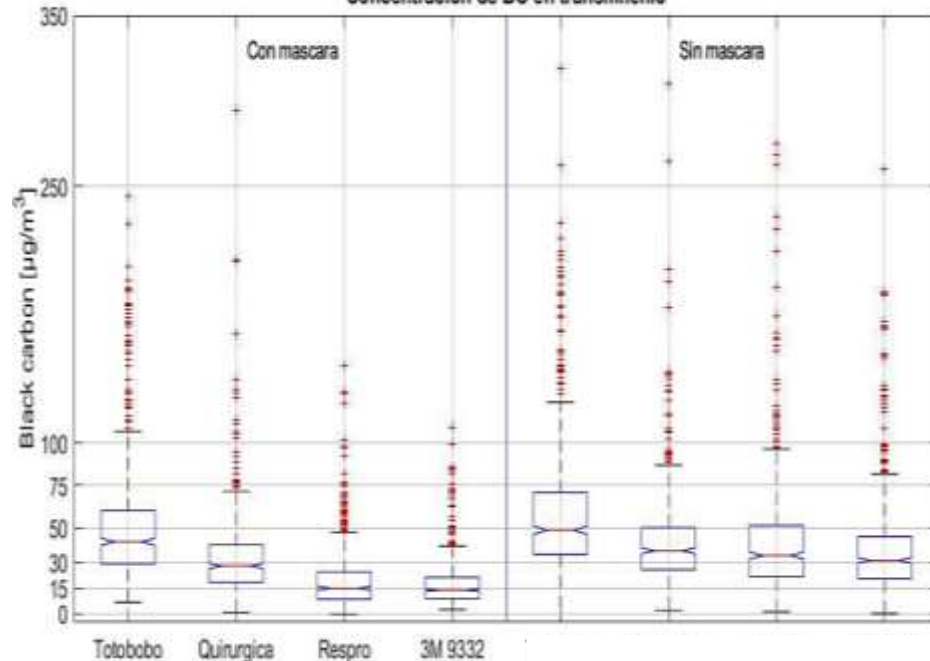
$$\textit{Eficiencia} = \left(1 - \frac{E_{WM}}{E_M} \right) * 100$$

Donde E_{WM} es el valor medido con protector respiratorio, mientras que E_M es el valor medido sin el protector respiratorio. Con el fin de evaluar la efectividad de mascarillas comerciales para reducir la exposición personal.

Concentración de PM_{2.5} en Transmilenio



Concentración de BC en transmilenio



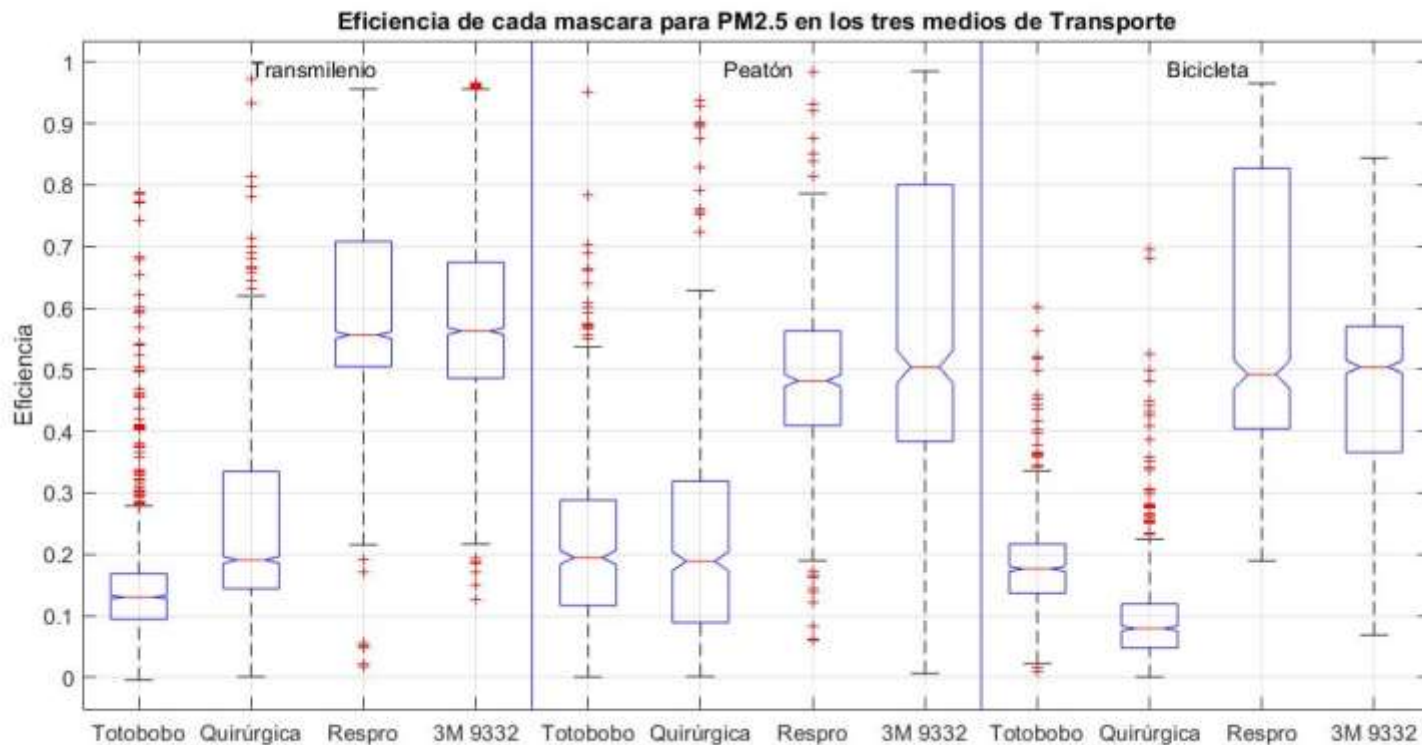
Concentraciones de Black Carbón y PM_{2.5} durante los diez días de monitoreo en Transmilenio: a. PM_{2.5} y b. Black Carbón

Resumen de observaciones de dosis en las campañas de medición para PM 2.5 y BC en cada medio de transporte

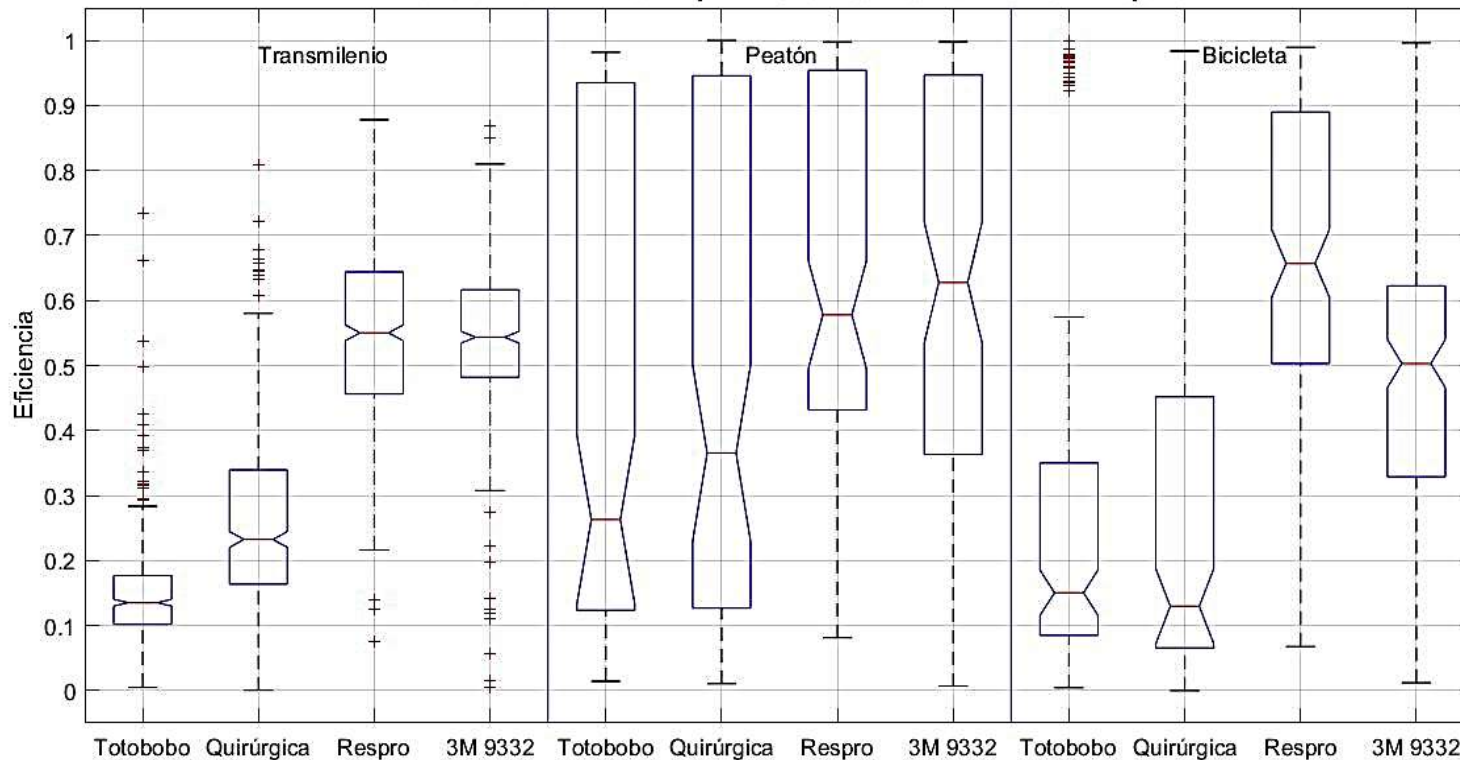
DOSIS INHALADA DE PM 2.5 Y BC						DOSIS EVITADA DE PM 2.5 Y BC							
PM 2.5			Black Carbon			MEDIO DE TRANSPORTE	Mascara	PM 2.5			Black Carbon		
$D_{ij}^{Tot} \mu g$	$D_{ij}^t \mu g \min^{-1}$	$D_{ij}^L \mu g Km^{-1}$	$D_{ij}^{Tot} \mu g$	$D_{ij}^t \mu g \min^{-1}$	$D_{ij}^L \mu g Km^{-1}$			$D_{ij}^{Tot} \mu g$	$D_{ij}^t \mu g \min^{-1}$	$D_{ij}^L \mu g Km^{-1}$	$D_{ij}^{Tot} \mu g$	$D_{ij}^t \mu g \min^{-1}$	$D_{ij}^L \mu g Km^{-1}$
62.0	1.3	2.8	36.1	0.8	1.6	BRT	1	7.6	0.2	0.3	4.7	0.2	0.1
45.0	1.0	2.0	26.0	0.6	1.2		2	8.2	0.2	0.4	5.7	0.1	0.3
42.9	0.9	1.9	25.8	0.6	1.2		3	23.7	0.5	1.1	13.8	0.3	0.6
36.8	0.8	1.7	23.3	0.5	1.1		4	20.0	0.4	0.9	12.6	0.3	0.6
52.3	2.4	29.1	23.0	1.1	12.8	Peatón	1	9.3	0.4	5.2	8.0	0.4	4.4
49.9	2.3	27.7	25.4	1.2	14.1		2	10.2	0.5	5.6	10.1	0.5	5.6
38.5	1.8	21.4	18.3	0.9	10.2		3	17.8	0.8	9.9	12.8	0.6	7.1
31.7	1.5	17.6	15.9	0.7	8.8		4	15.5	0.7	8.6	9.1	0.4	5.0
25.2	1.0	4.5	35.2	1.4	6.3	Bicicleta	1	4.4	0.2	0.8	9.3	0.4	1.7
23.0	0.9	4.1	29.8	1.1	5.3		2	2.2	0.1	0.4	6.2	0.2	1.1
23.7	0.9	4.2	29.3	1.1	5.2		3	14.9	0.6	2.7	20.1	0.8	3.6
21.2	0.8	3.8	27.2	1.0	4.9		4	10.4	0.4	1.9	14.7	0.6	2.6

1. Totobobo
2. Quirúrgica
3. Respro
4. 3M 9332

- Las dosis totales inhaladas promedios de BC en Bicicleta fueron las más altas
- Los peatones experimentan una mayor dosis de PM 2.5 y BC Por unidad de longitud y por unidad de tiempo.
- Las dosis evitadas en peatón por unidad de longitud fueron mayores con Respro respecto a los otros medios de transporte



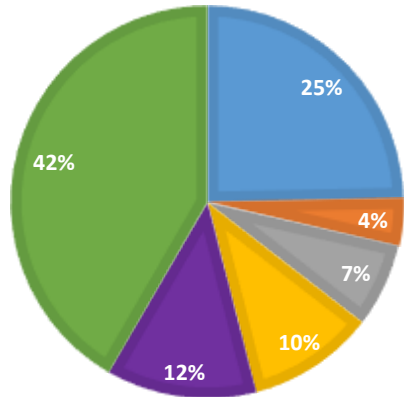
Eficiencia de cada mascaraca para BC en los tres medios de Transporte



¿Qué tan dispuestos están los usuarios de Transmilenio, los ciclistas y los peatones a usar algún tipo de protección respiratoria en Bogotá y cuánto están dispuestos a pagar por la misma?

¿USA DE LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DE PROTECCION RESPIRATORIA?

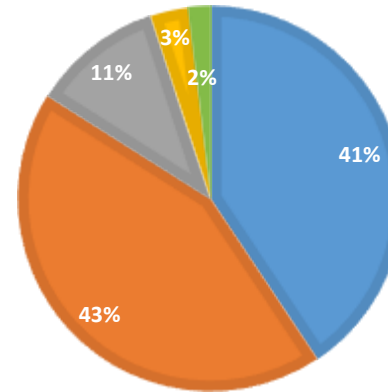
■ Quirúrgica ■ Totobobo ■ Respro ■ 3M ■ Otros ■ No



Comportamiento del uso de elementos de protección respiratoria

¿CUANTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR POR ELEMENTOS DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA?

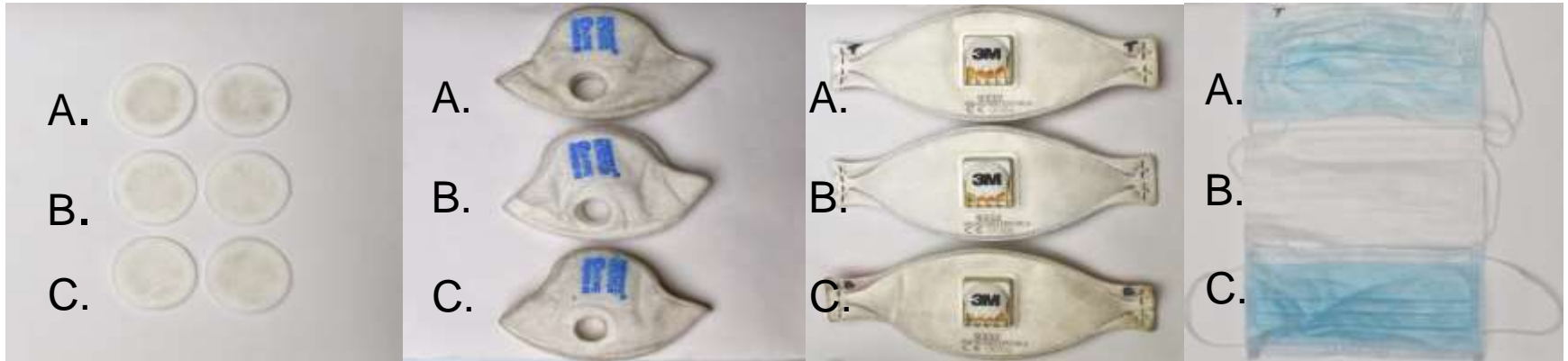
■ < \$10.000 ■ Entre \$20.000 y \$50.000 ■ Entre \$50.000 y \$70.000
■ Entre \$75.000 y \$100.000 ■ > \$100.000



Rangos de costos de los cuales las personas estarían dispuestas a pagar por un protector respiratorio.

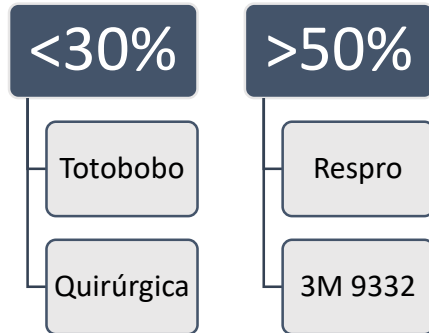
380 encuestados, 92 % estarían dispuestos a usarla mientras que el 8 % no.

Filtros de cada mascara usados durante las campañas

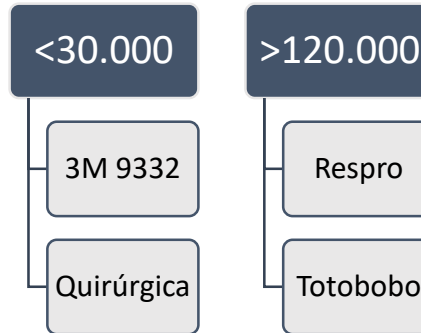


Izquierda a Derecha los filtros de cada máscara (Totobobo, Respro, 3M 9332 y máscara quirúrgica) usados en los diferentes medios de transporte: A. BRT, B. Peatón and C. Bicicleta.

Eficiencia



Precios



Las dosis totales evitadas fueron mayores en Respro y 3M 9332 con $23,7 \mu g$ y $20 \mu g$ respectivamente. Por otro lado Totobobo y quirúrgica evitaron $6,2 \mu g$ y $9,3 \mu g$.

Para lograr la eficiencia se necesita que este sea cómodo, que se ajuste a las condiciones del rostro, que posea materiales adecuados.

Características de los protectores respiratorios

Talla

Ajuste Facial

Material del Filtro

Proyectos de investigación y normas

Válvula de exhalación

Los residentes de la ciudad de Bogotá deberían utilizar protectores respiratorios en todos sus desplazamientos. Ante los niveles de concentración que se evidenciaron en esta investigación que los usuarios de los tres modos de transporte evaluados se encuentran expuestos.

Alcaldía mayor de Bogotá. (2015). *Encuesta de Movilidad 2015*. Bogotá D.C. Bogotá.

<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

ARIAS, X. (n.d.). Por el aire que respira, montar en bicicleta puede ser un riesgo para su salud | Publimetro Colombia.

Departamento Nacional de Planeación DNP, (2017) [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones.aspx)

Morales Betancourt, R., Galvis, B., Balachandran, S., Ramos-Bonilla, J. P., Sarmiento, O. L., Gallo-Murcia, S. M., & Contreras, Y. (2017). Exposure to fine particulate, BC, and particle number concentration in transportation microenvironments. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.006>

OMS | Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. (2017). *WHO*. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

Peñaloza, Nelson; Rojas, Néstor; Belalcázar, L. (2012). *Revisión de inventarios de emisiones con fines de modelización de calidad del aire en Bogotá*.

Secretaría Distrital de Movilidad. (2015). Encuesta de Movilidad 2015, 62.

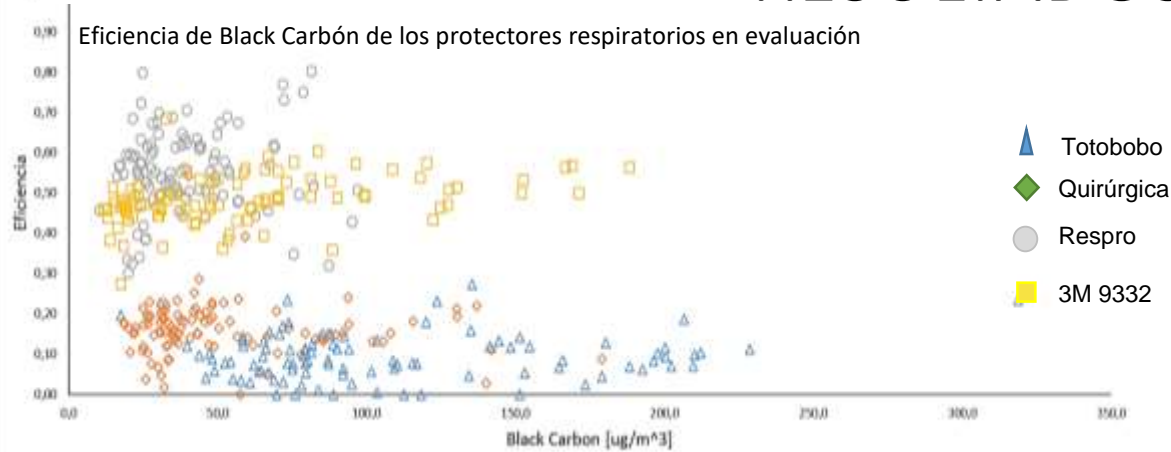
<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

GRACIAS

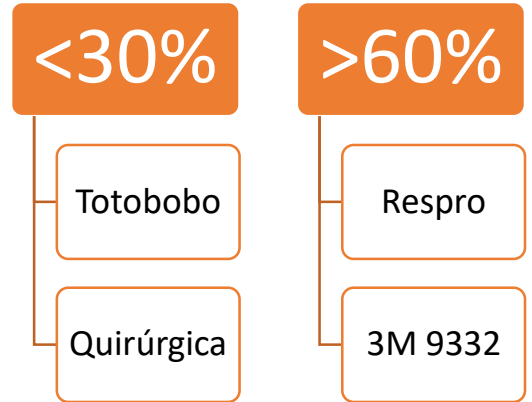
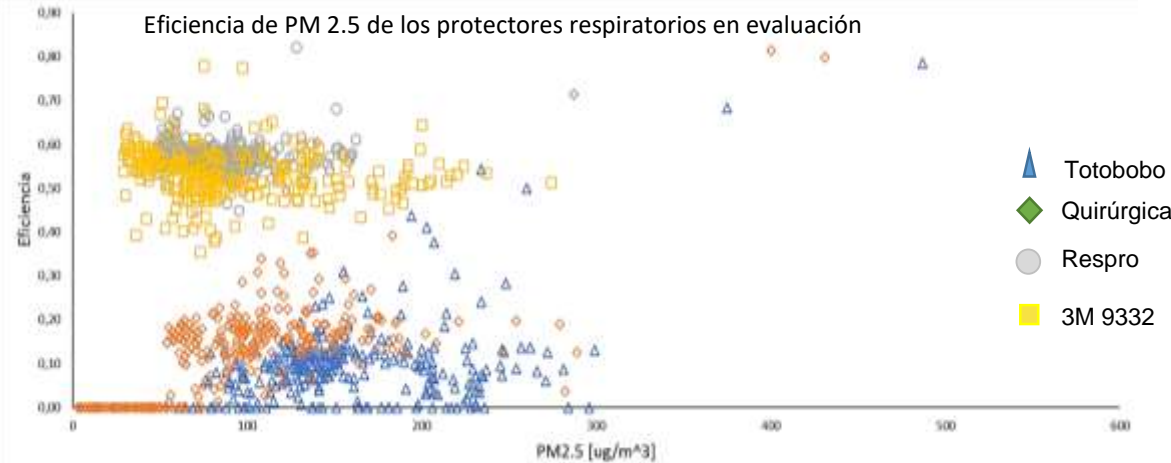
CONCLUSIONES

Conclusiones	Totobobo	Quirúrgica	Respro	3M 9332
	PM2.5-BC	PM2.5-BC	PM2.5 - BC	PM2.5 - BC
Eficiencias	<30%	<30%	56,3% - 62.6%	54,3% - 56,6%
Reducción BRT			$37,27 \frac{\mu g}{m^3} - 15,05 \frac{\mu g}{m^3}$	$26,67 \frac{\mu g}{m^3} - 13,89 \frac{\mu g}{m^3}$
Dosis evitada	$6,2 \mu g$	$9,3 \mu g$	$23,7 \mu g$	$20 \mu g$

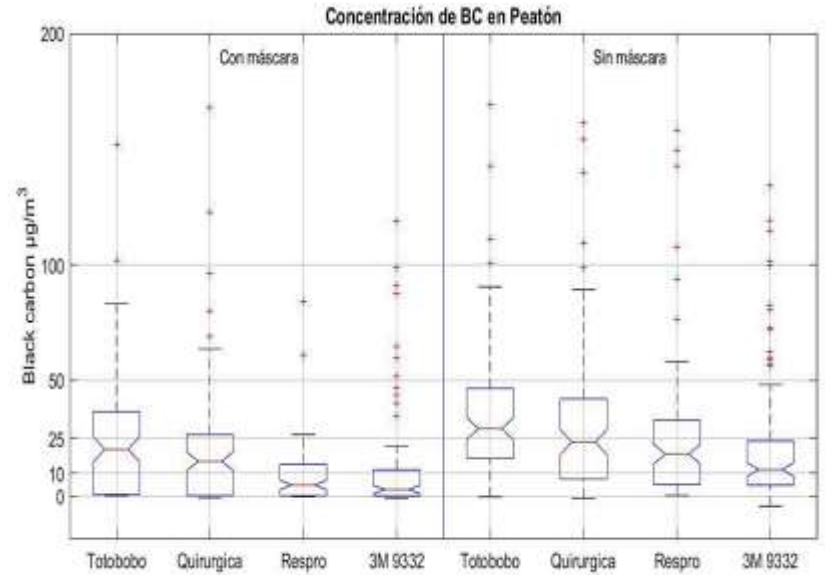
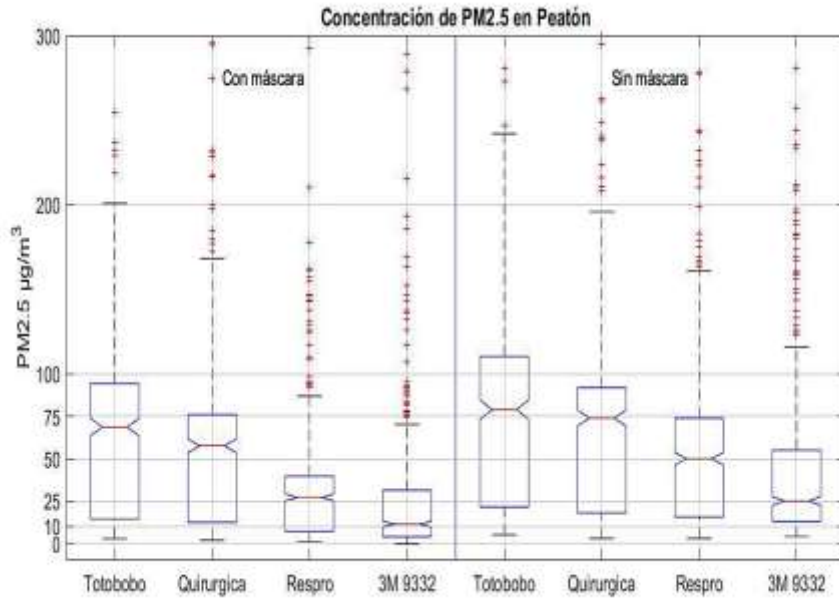
Eficiencia de Black Carbón de los protectores respiratorios en evaluación



Eficiencia de PM 2.5 de los protectores respiratorios en evaluación

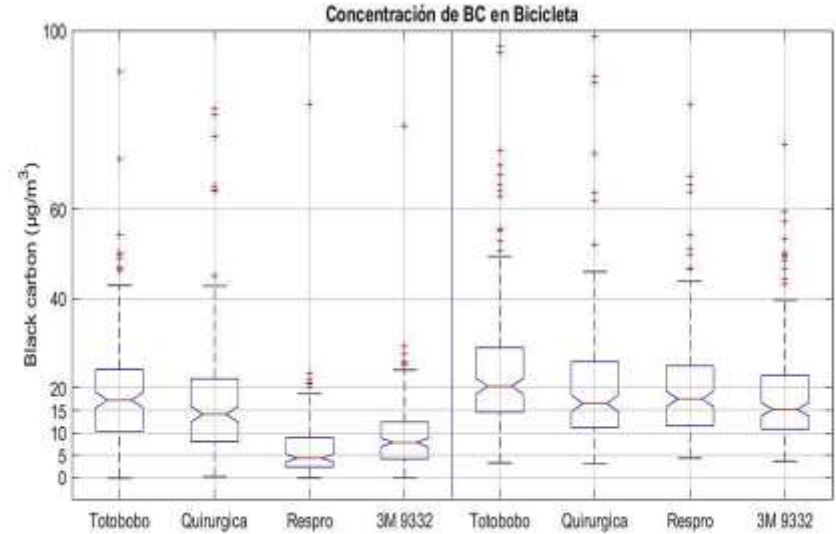
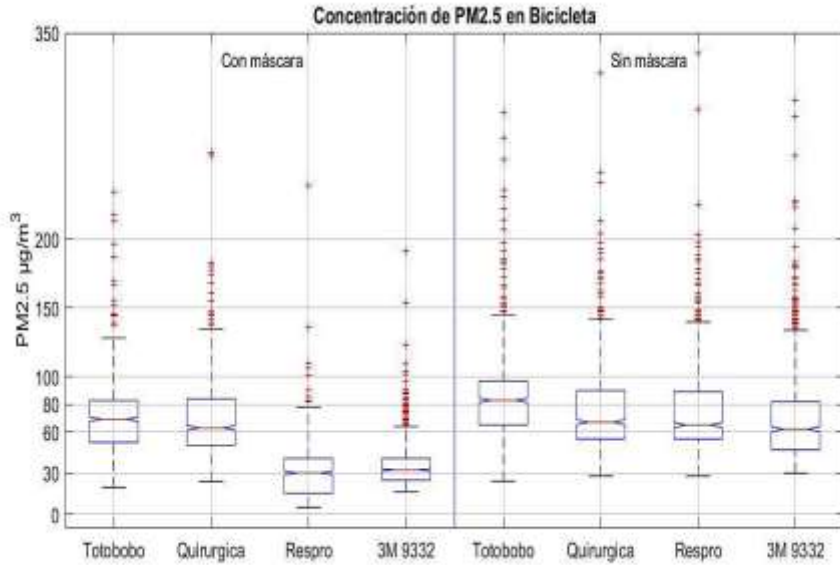


RESULTADOS

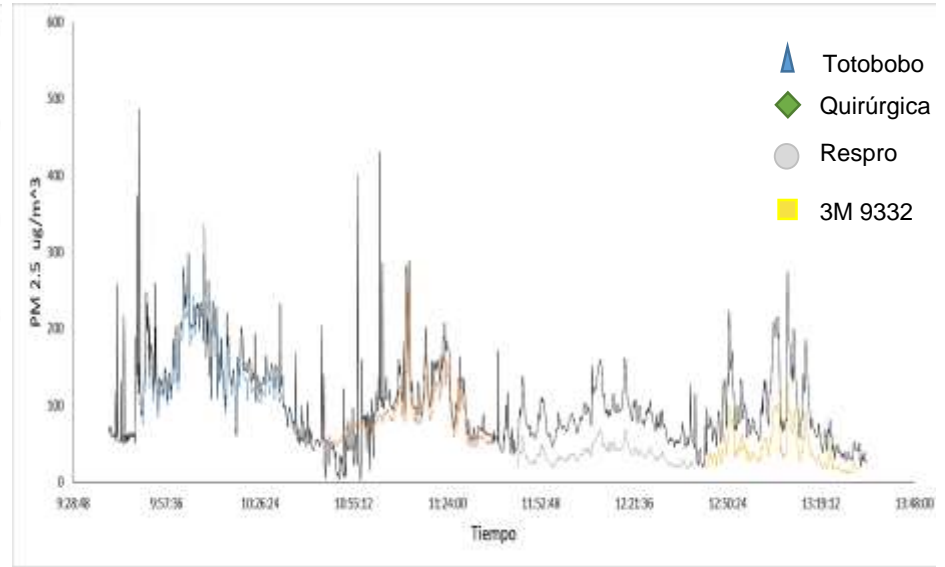
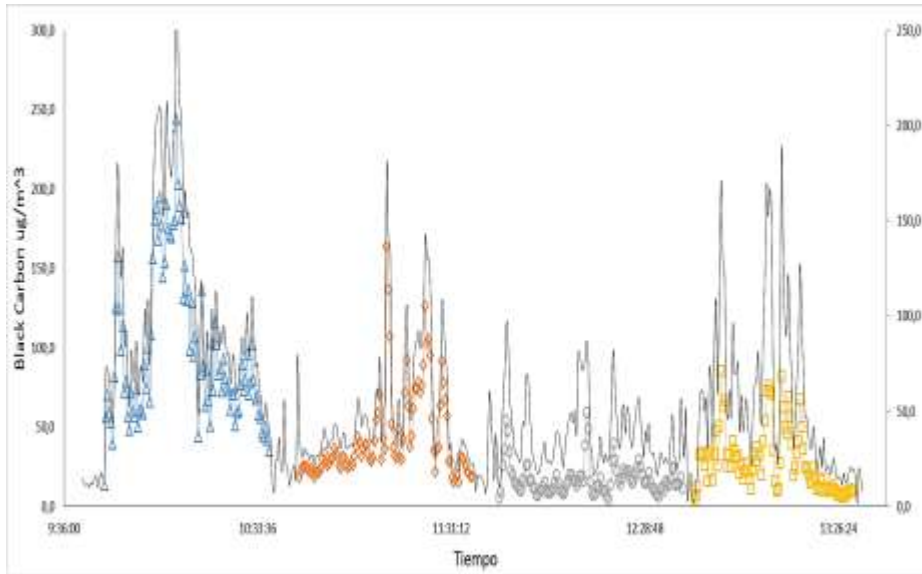


Concentraciones de Black Carbón y PM_{2.5} durante los cinco días de monitoreo en Peatón: a. PM_{2.5} y b. Black Carbón.

RESULTADOS



Concentraciones de Black Carbón y PM_{2.5} durante los cinco días de monitoreo en Bicicleta: a. PM_{2.5} y b. Black Carbón.

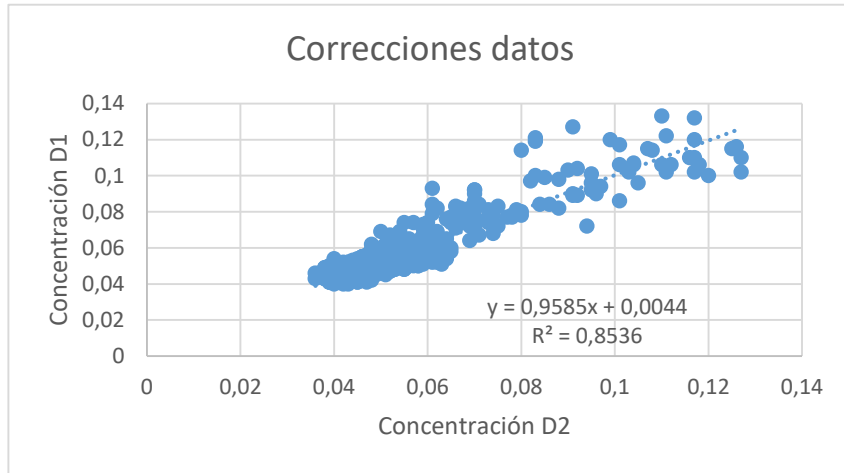


Concentración vs Tiempo en Transmilenio del día 13 de diciembre 2017 para BC.

Concentración vs Tiempo en Transmilenio del día 13 de diciembre 2017 para **PM_{2.5}**.

- Las concentraciones de PM 2.5 y BC disminuyen mientras se utiliza una máscara.
- La exposición a estos contaminantes disminuyen cuando se utilizan las mascararas Respro y 3M 9332

METODOLOGÍA



Corrección de la desviación de los DUSTTRACK



Mediciones en los laboratorios de Ingeniería Ambiental y sanitaria de la Universidad de La Salle

METODOLOGÍA

Inter comparación de los dos Micro-Aethalometros

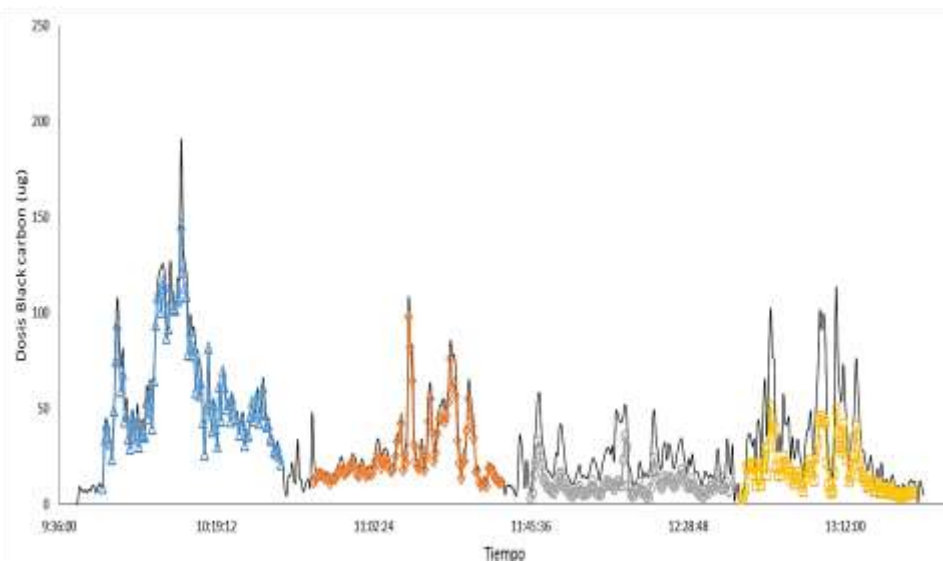
Se tomó un promedio de los datos recolectados por los instrumentos en un periodo de seis horas, en intervalos de sesenta segundos en el laboratorio. Los cuales eran el desfase de los datos del equipo, y se sumaron a las concentraciones que marcaba el aethalometro en el momento de realizar los monitoreos para así obtener unas concentraciones corregidas. Con mascara se sumaba el valor de $0.08425 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ y sin mascara $0.07603 \mu\text{g}/\text{m}^3$

METODOLOGÍA

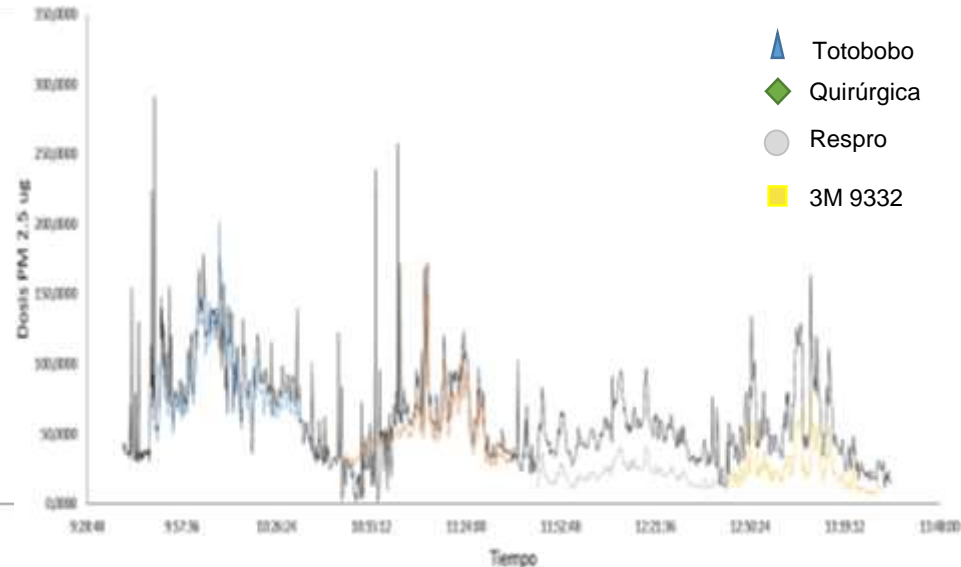
Debido a que su principio de funcionamiento se basa en la medición de la tasa de cambio en la absorción de la luz transmitida debido a la recolección continua de depósitos de aerosoles en el filtro, se recomienda aplicar un método de corrección lineal para las mediciones de Black carbón, según (Virkkula et al., 2007; Cheng and Lin, 2013)

$$eBC = eBC_0(1 + K(ATN - ATN_0)) \quad \text{FOR } ATN > ATN_0$$

En donde eBC_0 es la concentración registrada por el equipo, ATN es la atenuación, $ATN_0 = 20$ y $K = 0.01$



Dosis potencial de BC para pasajeros de Transmilenio del día 13 de diciembre 2017.



Dosis potencial de PM 2.5 para pasajeros de Transmilenio del día 13 de diciembre 2017.

Las dosis inhaladas de PM 2.5 y BC disminuyen cuando se utiliza un protector respiratorio